

I. Historique

A. Radioactivité et rayonnement

La radioactivité existe intrinsèquement sur Terre. La radioactivité naturelle a été découverte en 1896 par Becquerel. Il a dit qu'elles émettaient des rayonnements.

Il existe 2 types de radioactivité :

- Radioactivité naturel (minerais)
- Radioactivité artificielle (créé en laboratoire)

Becquerel a déterminé 3 types de rayonnement :

- α
- β
- γ

Il savait qu'ils étaient différents quand à leur charge et quand à leur pouvoir de pénétration.

B. Constitution de l'atome

1897 : découverte de l'électron e^- . Un atome a Z électrons, ce qui caractérise la nature chimique de l'élément. Le noyau : le proton a été découvert en 1914, parce qu'il est chargé. Pour que l'atome soit neutre, il faut qu'il ait Z protons. Le proton a une charge $+e$. En 1932, on découvre le neutron, neutre, sans charge, plus difficile à mettre en évidence. Sa masse est à peu près égale à la masse des neutrons, et bien supérieure à celle des électrons. Protons et neutrons constituent les constituants du noyau.

II. Constitution de l'Atome

A. Définition

Un noyau est chargé $+Ze$, et les électrons ont une charge $-Ze$. Z est le numéro atomique. Il définit la molécule. Si $Z=8$, c'est de l'oxygène. Le noyau a 2 protons et N neutrons. La somme des 2 est appelée A, c'est le nombre de masse. La masse atomique est surtout liée au noyau.

${}_Z^AX$

Ex : ${}_2^4\text{He}$ ${}_8^{16}\text{O}$ ${}_7^{14}\text{N}$

${}_2^4\text{He} + {}_7^{14}\text{N} \rightarrow {}_8^{17}\text{O} + {}_1^1\text{H}$

Il faut équilibrer le nombre de neutrons et le nombre de protons.

${}_2^4\text{He} + {}_4^9\text{Be} \rightarrow {}_6^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$

Un élément chimique peut exister avec un nombre de nucléons différents.

${}_{10}^{20}\text{Ne}$ ${}_{10}^{27}\text{Ne}$

${}_1^1\text{H}$ ${}_1^2\text{H}$ = deutérium ${}_1^3\text{H}$ = tritium isotopes

L'uranium :

${}_{92}^{235}\text{U}$: 0,7% ${}_{92}^{238}\text{U}$: 99,3%

Quand ce sont des minerais, ils existent toujours en même quantité dans la nature, qu'on appelle abondance.

Le problème est que l'on utilise le 235, et donc il faut l'enrichir.

${}_6^{12}\text{C}$: 98,9% ${}_6^{13}\text{C}$: 1,1% ${}_6^{14}\text{C}$: $1,3 \cdot 10^{-12}$

B. Masses nucléaires et énergie de liaison

La masse nucléaire, serait la masse des protons + la masse des neutrons + la masse des électrons. Cependant, quand on mesure la masse des atomes, elle est plus petite que ça, donc il manque de la masse, c'est ce qu'on appelle le défaut de masse. ΔM est le défaut de masse.

On peut le transformer en défaut d'énergie, grâce à $E = Mc^2$

Défaut d'énergie : $\Delta E = \Delta M \times c^2 = B(A, Z)$

Le défaut d'énergie, c'est l'énergie de liaison. Elle se passe au niveau du noyau. On va donc regarder ce défaut d'énergie par nucléon : $B(A, Z)/A$

// Voir tableau III page 1 poly et figure 30.8

Le fer est le noyau le plus stable. Autour, ils seront moins stables. Les autres éléments vont tenter de se rapprocher du fer, de faire des noyaux plus gros, de faire des fusions. Par rapport à l'uranium, les noyaux vont tenter de se diviser, de faire de la fission.

Actuellement, dans les armes atomiques, les 2 sont utilisées. Dans les centrales nucléaires, seule la fission est utilisée. On ne contrôle pas encore la fusion, mais elle donnerait plus d'énergie, et ne ferait que peu de déchets.

// Voir figure 30.12 page 3 poly et figure 5 page 4

Les éléments stables sont les carrés noirs on parle de la vallée de la stabilité. Les éléments stables, en bas, présentent une équivalence du nombre de neutrons et du nombre de protons.

III. Désintégrations radioactives

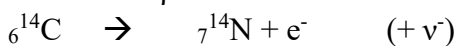
A. Désintégration α

L'émission α : émission d'un noyau d'He : ${}_2^4\text{He}$ 2 neutrons, 2 protons et 2 charges élémentaires
 ${}_{88}^{226}\text{R}$ (radium) \rightarrow ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ (Radon) + ${}_2^4\text{He}$

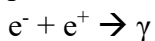
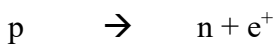
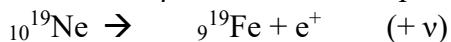
α si gros noyaux, trop de neutrons, trop de protons.

B. Désintégration β

L'émission β^- : émission d'un électron



L'émission β^+ : émission d'un positon, antiparticule d'un électron



On a β^- quand on a un excès de neutrons, on a β^+ quand on a un excès de protons.

β : différences d'énergie : distribution d'énergie

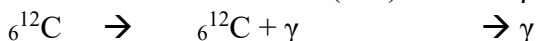
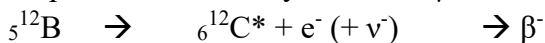
// Voir page 2 poly

L'énergie moyenne croît avec la masse, ce qui est important au niveau de la détection.

C. Désintégration γ

γ : émission de photons : de très haute énergie

Le plus souvent, le rayonnement γ est émis après un rayonnement β .



// Voir figure 13.6 page 5

D. Période et activité

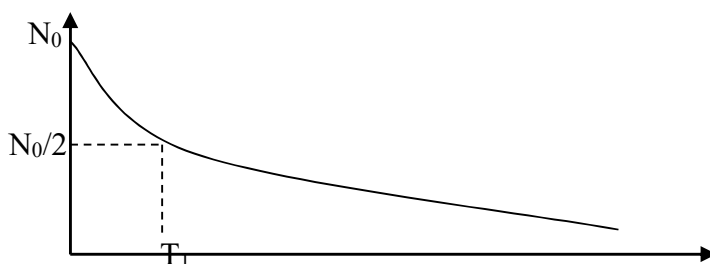
La désintégration des noyaux radioactifs suit une loi exponentielle négative :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \text{ décroissance exponentielle}$$

$$\lambda = 1/\tau \quad \tau : \text{constante de temps}$$

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

T = période (=demi-vie) : temps au bout duquel il reste la moitié des noyaux. Elle est très variable.



Elément	Période
${}^{14}\text{C}$	5730 ans
${}^{238}\text{U}$	4,5 milliards d'années
${}^3\text{H}$	12,3 ans
${}_{53}^{125}\text{I}$	60 jours

L'activité : $A(t) = -dN(t)/dt = -N_0(-\lambda)e^{-\lambda t}$

$A(t) = +\lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$

C'est le nombre de désintégration par secondes, exprimé en Becquerel (Bq).

E. Filiations radioactives

// Voir figure 13.9 page 5

IV. Principaux radio-isotopes en recherche et diagnostic

Trois grands domaines d'utilisation des radio-isotopes :

- Recherche (biologie ou médical)
- Diagnostic (médical)
- Thérapie (médical)

A. Types d'utilisation dans le domaine du vivant

1. Constituants biologiques

On utilise les atomes légers qui peuvent être substitués par un autre radio-isotope.

^{14}C , ^2H , ^{35}S , ^{32}P

On les utilise pour la structure des acides aminés, sur l'ADN, les hormones. On l'utilise aussi en pharmacie.

2. Diagnostic médical

Il s'agit d'introduire des radio-isotopes et de suivre celui-ci dans l'organe utilisé. Il peut être pur, ou appartenir à une molécule. On a le marquage du sang, la mesure du débit (cardiaque), ce sont des suivis dynamiques. On peut aussi marquer la thyroïde, les reins, c'est plus statique.

3. Thérapie

Elle sert au traitement des cancers, de par sa grande énergie. On peut faire une implantation, directement sur la tumeur (aiguille de radium), on peut mettre un radio-isotope sur la molécule qui vient se fixer sur l'organe cancéreux, et on peut faire des irradiations, ce sont des rayons γ produits par du ^{60}Co .

B. Cahier des charges

Les deux critères majeurs sont le type de rayonnement et la période. Il y a d'autres critères qui sont l'activité (ni trop, ni trop peu), l'existence d'une molécule chimiquement compatible, la facilité de stockage, la facilité d'utilisation, la facilité de protection, le coût (abondance, coût industriel, élimination).

C. Types de rayonnement

En pratique, on ne se sert quasiment pas de particule α . Elles ne sont pratiquement pas utilisées en recherche et diagnostique, parce qu'elles sont toxiques et très absorbées par les tissus.

On utilise plus les β et γ , β est plutôt utilisé en brulage moléculaire, et γ en diagnostique.

// Voir page 6 poly

D. Période physique et période biologique

$N_p(t) = N_0 e^{-\lambda_{pt} t} \rightarrow T_p$ période (demi-vie) \rightarrow décroissance physique (liée à l'élément)

$N_b(t) = N_0 e^{-\lambda_{bt} t} \rightarrow T_b$ période \rightarrow décroissance biologique (liée à l'organisme)

Mais souvent, on observe une moyenne des deux :

$N(t) = N_0 e^{-\lambda_{\text{effectif}} t} \rightarrow T_{\text{eff}} = \text{Période} \rightarrow$ On admet que $1/T_{\text{eff}} = 1/T_p + 1/T_b$

// Voir tableau poly page 6.

Élimination biologique se fait en fonction des éléments et des organes exposés. On peut mesurer par exemple la capacité des reins à éliminer un élément.

E. Types d'utilisation

1. Marquage organique

On marque tout un organe pour voir son fonctionnement. On peut par exemple mesurer des débits coronariens, des débits cérébraux, des débits rénaux. On peut utiliser des traceurs statistiques, et des traceurs dynamiques (qui permettent de suivre le fonctionnement du rein) : traceurs glomérulaires, tubulaires. On peut aussi étudier les os, ou le cerveau.

2. Marquage moléculaire

On remplace un atome non-radioactif par son isotope radioactif. La chimie ne fait pas la différence entre les deux, la cellule incorpore les uns comme les autres. On peut marquer le glucose, les acides gras, les récepteurs aux neurotransmetteurs (épilepsie, dépression), aux œstrogènes, aux anticorps, aux peptides.

3. Marquage du sang

On peut marquer les globules rouges (atome de fer 59, qui se fixe à l'hémoglobine), les globules blancs, les plaquettes. Pour chacune de ces utilisations on n'aura pas forcément les mêmes marqueurs. On différencie aussi les fixations d'organes statiques (exemple : tumeur), ou suivi de fonctionnement.

F. Les radio-isotopes les plus utilisés

L'iode 123 (^{123}I) a un rayonnement γ , mais il coûte cher, sa période est courte, et son activité décroît rapidement. L'iode 131 (^{131}I) émet en $\beta + \gamma$.

Technetium ($_{45}^{99}\text{Tc}^*$) émetteur γ . Sa période est de 6 heures, c'est une durée idéale pour une étude sur un patient. Il a une structure qui remplace bien un certain nombre d'atomes.

V. Production et détection

A. Production

Chaque molécule est fabriquée en laboratoire. Il y a un cyclotron à l'hôpital d'Orléans.

B. Détection

1. Dosimètre

Outil à récepteurs photographiques, qui mesure l'exposition aux éléments radioactifs. C'est utilisé pour les β et les γ . Il existe aussi des dosimètres thermo-luminescents, ils sont plus précis et réutilisables. On les utilise dans l'industrie nucléaire.

2. Compteurs

Ils mesurent les rayonnements émis.

// Voir page 8 poly

a) *Le compteur Geiger*

Petit compteur qui mesure les radiations, avec un compteur à sons ou à enregistreur. Ils servent à mesurer s'il y a émission. Cependant, ce n'est pas très précis.

b) *Le scintillateur + photomultiplicateur*

A partir d'un photon émis, on le transforme en électrons, et on l'amplifie. On multiplie par 1 million le signal reçu.

c) *Le détecteur semi-conducteur*

Ils permettent, comme le scintillateur, de mesurer les désintégrations.

3. Imagerie

Permet d'obtenir une image du fonctionnement, et des radiations.

// Voir figure 31.8

La glande thyroïde émet des photons, qui entrent dans un collimateur, passent par un cristal, et par un photomultiplicateur, on obtient une image. On peut déplacer cette image en 2 dimensions. On n'a pas d'informations sur la profondeur.

Pour avoir du relief, on fait de la tomographie. Plutôt que d'avoir un détecteur, on prend une ligne de détecteurs. On fait généralement de la tomographie X (rayons X).

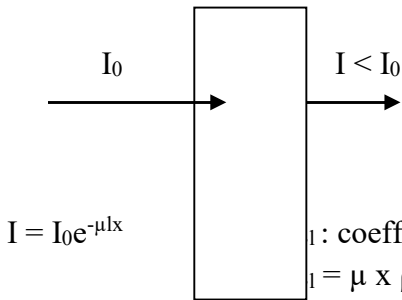
// Voir page 9

On obtient au final une tranche. On déplace ensuite ce détecteur en hauteur, et par une série de tranches, on obtient une structure 3D.

La tomographie à positron (antiparticule de l'électron) mesure l'arrivée des photons, et en déduit le point de rencontre du positron et de l'électron. En effet, quand un positron rencontre un électron, ils s'annihilent et émettent 2 photons à 180° .

VI. Radioprotection

A. Absorption par la matière



μ , μ_1 ont un type de rayonnement de forte énergie, mais le coefficient d'absorption massique est faible. De la nature du système, on détermine μ à partir de Z , les deux varient en même temps.

// Voir poly tableau IV, et celui en dessous

B. Interaction rayonnement/tissus vivants

Les radiations, de façon générale, sont appelées radiations ionisantes, rayonnements ionisants. On fait référence aux molécules du vivant. On crée des ruptures dans les molécules. Les radiations ionisantes peuvent entraîner des mutations génétiques. Il y a des effets immédiats :

- Picotements
- Rougeurs
- Nausées

A plus long terme :

- Fœto-embryonnaire
- Génétique (mutation ADN)
- Cancérigènes

L'exposition est nocive quand on reçoit une dose massive mais courte, ou une dose faible mais répétée.

// Voir page 13 poly : figure 31.6

On a des risques par irradiation (externe ou interne) ou par contamination (peau (externe), ingestion, inhalation, voie cutanée).

- Protection des rayonnements : Ecrans (de plomb, et de plexiglas)
- Protection de la contamination : gants, blouses, masques
- Contrôle par dosimètre individuel
- Formation d'une personne par laboratoire
- Respect des consignes de sécurité

C. Dosimétrie

Unités de mesure

1. Activité

C'est le nombre de désintégrations par secondes. L'unité internationale est le Becquerel, qui équivaut à une désintégration par seconde. On utilise aussi le Curie (Ci), qui vaut $3,7 \cdot 10^{10}$ désintégrations par seconde.

2. Dose absorbée

C'est une énergie par unité de masse. L'unité internationale est le Gray ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$). On utilise aussi le rad, $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$ (Gray).

3. Dose absorbée biologique = dose équivalente

On prend la dose absorbée, et on la multiplie par un facteur de qualité. L'unité SI est le Sievert, qui se note Sv, et c'est ça vaut : $1 \text{ Gy} \times \text{FQ}$.

Le rem, vaut $1 \text{ rad} \times \text{GQ}$.

// Voir poly page 13 et page 11

4. La dose équivalent cumulée

C'est la somme des doses équivalentes sur 1 an. De façon naturelle, on reçoit tous une dose de 1,3 mSv/an. Une radiographie apporte 0,7 mSv/an. Pour le grand public, la dose est de 5 mSv/an. Pour les travailleurs, elle peut être de 15 à 50 mSv/an